

전복용 배합사료의 어분 대체 단백질원 및 사료첨가제 효과

지성춘

한국해양대학교 해양과학기술대학 해양환경생명과학부

Effect of fishmeal substitution protein sources and dietary additive in the diet

Sung-Choon Ji

Division of Marine Environment and BioScience, College of Ocean Science and Technology, Korea

Maritime University, Busan 606-791, Korea

목 차

목 차	I
List of tables	III
List of figures	IV
Abstract	1
1. 서론	2
2. 재료 및 방법	5
2. 1. 전복의 사육 및 관리	5
2. 2. 실험사료의 조성 및 일반성분	5
2. 3. 실험사료의 제조	6
2. 4. 전복의 성장 측정 및 일반성분 분석	6
2. 5. 통계분석	6
2. 6. 전복의 다양한 스트레스에 대한 내성 평가	6
2. 6. 1. 공기중 노출 스트레스에 대한 전복의 내성 평가 실험	7
2. 6. 2. 염분의 변화에 따른 전복의 내성 평가 실험	7
2. 6. 3. 수온의 급변화에 따른 전복의 내성 평가 실험	7
3. 결과	8
3.1. 실험 I. 전복의 성장	8
3.2. 실험 I. 전복의 가식부의 일반성분 분석 결과	8
3.3. 실험 II. 전복의 성장	9
3.4. 실험 II. 전복의 가식부의 일반성분 분석 결과	9
3.5. 실험 II. 공기 중 노출 스트레스에 대한 전복의 내성 평가	9
3.6. 실험 II. 염분의 급변화에 따른 전복의 내성 평가	9
3.7. 실험 II. 수온의 급변화에 따른 전복의 내성 평가	10
4. 논의	11
4.1. 실험 I.	11
4.2. 실험 II.	12
5. 결론	14
6. 감사의 글	15
7. 참고 문헌	16

List of Tables

Table 1. Ingredients of the experimental diets for experiment I	21
Table 2. Ingredients of the experimental diets for experiment II	23
Table 3. Survival (%), weight gain (g/abalone), shell length (cm), shell width (cm) and the ratio of carcass weight to total weight of abalone fed the experimental diets at experiment I	25
Table 4. Chemical composition (%) of carcass of abalone fed the experimental diets at experiment I	28
Table 5. Survival (%), weight gain (g/abalone), shell length (cm), shell width (cm) and the ratio of carcass weight to total weight of abalone fed the experimental diets at experiment II	29
Table 6. Chemical composition (%) of the carcass of abalone fed the experimental diets at experiment II	32

List of Figure

Fig. 1. Survival (%) of abalone fed the experimental diets at experiment I.	26
Fig. 2. Weight gain (g/abalone) of abalone fed the experimental diets at experiment I	27
Fig. 3. Survival (%) of abalone fed the experimental diets at experiment II.	30
Fig. 4. Weight gain (g/abalone) of abalone fed the experimental diets at experiment II.	31
Fig. 5. Changes in survival rate (%) of abalone exposed to air for 30 hours and then transferred to water in raceway tank for 24 hours.	33
Fig. 6. Changes in survival rate (%) of abalone exposed to sudden salinity change from 31 psu to 15 psu.	34
Fig. 7. Changes in survival rate (%) of abalone exposed to sudden temperature change from 13°C to 29°C.	35

Abstract

Substitution-effect of animal and plant protein sources for fishmeal in diet for juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*), and effect of dietary additive on growth and tolerance of abalone against the stresses were determined in the 16-week feeding trials in the experiments I and II, respectively. In the experiment I, fifty juvenile (an initial body weight of 10.0 g) abalone per container were randomly distributed into 27, 50 L plastic rectangular containers. Nine experimental diets with triplicates were prepared. Fishmeal was used as sole protein source (Con). Animal protein sources [poultry meal (PM), meat and bone meal (MB), Silkworm pupae meal (SPM)] and plant protein sources [soybean meal (SM) and corn gluten meal (CM)] were substituted fishmeal in the diet. Besides, their combined substitution of animal and/or plant protein sources [soybean meal and corn gluten meal (SM+CM), soybean meal and silkworm pupae meal (SM+SPM) and corn gluten meal and silkworm pupae meal (CM+SPM)]. Survival of abalone fed the SM and SM+SPM diets was significantly ($P<0.05$) higher than that of abalone fed the CM, SPM, MB and CM+SPM diets, but not significantly ($P>0.05$) different from that of fish fed the Con diet. Weight gain of abalone fed the SM+SPM and SM+CM diets was significantly ($P<0.05$) higher than that of abalone fed the Con diet. Shell length of abalone fed the SM+CM and SM+SPM diets was significantly ($P<0.05$) higher than that of abalone fed the Con diet. The rate of carcass weight to total weight of abalone fed the SM+CM diet was significantly ($P<0.05$) higher than that of abalone fed the Con diet. Chemical composition of carcass of abalone except for ash was significantly ($P<0.05$) affected by the experimental diet. In the experiment II, seventy juvenile (an initial body weight of 4.2 g) abalone per container were randomly distributed into 21, 50 L plastic rectangular containers each. The various sources of additives were included into the experimental diets; control diet (Con) with no additive, by-product of green tea (BPG), extract of figs (EF), extract of green tea (EG), commercially available product of Hearok (PH), and *Haematococcus* (HC). Finally, dry sea tangle (ST) was prepared to compare the efficiency of the experimental diets. Fishmeal, soybean meal and shrimp head meal were used as the protein source, and dextrin, sea tangle powder and wheat flour, and soybean oil and fish oil were used as the carbohydrate and lipid sources, respectively in the experimental diets. At the end of the 16-week feeding trial, abalone was exposed to the different types of stresses (air exposure, and sudden changes of temperature and salinity) and the accumulated mortality of abalone was monitored as the scheduled intervals. Survival of abalone fed the ST was highest. However, weight gain of abalone fed the EF, EG and PH diets was significantly ($P<0.05$) higher than that of abalone fed the BPG diet or ST. Shell length of abalone fed the all experimental diets was significantly ($P<0.05$) higher than that of abalone fed the ST. Accumulated mortality of abalone fed the ST was low when exposed to the different types of stresses. Also, relatively low mortality was achieved in abalone fed the HC and EF diets. In considering these results, it can be concluded that a combination of soybean meal and corn gluten meal (SM+CM) or combination of soybean meal and silkworm pupae meal (SM+SPM) could be considered the most proper substitution protein source for fish meal in the diet for abalone. In addition, dietary inclusion of *Haematococcus* (HC) and extract of figs (EF) seemed to be effective to lower mortality of abalone when exposed to air or sudden changes in salinity among additives tested in this study.

1. 서론

전복(*Haliotis discus hannai*)은 단백질과 비타민이 풍부하며 예로부터 건강식품으로 인식되어져 왔으며, 특히 다량으로 함유되어있는 타우린은 간장보호, 피로회복 및 심근경색 등에 대한 예방효과를 가지고 있어 패류의 귀족이라 할 만큼 영양적 가치와 맛이 뛰어나다. 이러한 전복의 영양적 가치와 더불어 최근 건강식품에 대한 관심이 높아짐에 따라서 전복에 대한 소비자들의 수요와 양식생산량이 급격하게 증가하고 있으며, 2000년 20톤(금액: 19억)에 불과하였던 전복의 국내 양식생산량이 2007년에는 4,350(금액: 1,620억)톤으로 약 200배 이상의 급격한 양식생산량의 증가를 보였으며(KNSO, 2008), 세계 전복양식 총생산량도 2000년 2,568톤에서 2005년에는 20,765톤으로 거의 10배가량 급격하게 증가한 것으로 나타났으며(FAO, 2008), 전복에 대한 소비자들의 수요와 양식 생산량은 앞으로도 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

우리나라에서 서식하는 전복은 참전복(*Haliotis discus hannai* Ino), 까막전복(*Haliotis discus*), 시볼트전복(*Haliotis sieboldii*), 말전복(*Haliotis gigantea*), 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*) 및 마대오분자기(*Haliotis diversicolor diversicolor*)로 총 6종으로 분류되고 있으며, 이 중에서 참전복이 주로 양식생산에 이용되고 있다(Han, 1998). 전복은 저서동물로서 이동속도가 느리기 때문에 환경변화에 따른 대피 능력과 적응력이 강하지 못하여 수온, 염분, 오염 및 먹이 등의 환경변화에 직접적인 영향을 받으며, 이것은 전복의 양식생산성과 직결된다. 특히 전복은 성장이 느리며 치설로서 먹이를 천천히 씹아먹기 때문에 전복용 먹이는 물속에서 오랫동안 그 형태를 유지해야 하며, 전복의 계획적이고 안정적인 양식생산을 위해서는 먹이의 확보가 아주 중요하다. 우리나라 대부분 전복양식장의 경우 먹이는 주로 늦가을부터 초봄까지는 바다에서 자연산 해조류(미역, 다시마 등)를 채취하거나 구입하여 공급하고 있지만 이 시기를 제외한 시기에는 자연산 해조류를 구하기 어렵기 때문에 이들 해조류를 말린 형태의 건조먹이(건미역, 건다시마 등)를 공급하고 있는 실정이다. 하지만 이들 건조먹이의 공급 불안정과 전복 양식장의 대형화 및 보급화에 따른 건조먹이에 대한 수요 급증은 건조먹이의 가격 상승을 유발하여 양식산 전복의 생산 단가 상승을 야기 시키는 원인이 되고 있으며, 더욱이 건조먹이의 건조 과정이나 보관 과정에서 야기되는 여러 가지 영양소의 파괴나 손실은 건조먹이의 영양불균형을 야기 시켜서 전복의 성장 및 생산성을 감소시키는 원인이 된다. 따라서 전복의 안정적인 양식생산을 위해서는 자연산 먹이를 대체할 수 있는 영양학적으로 균형이 잡힌 저렴한 비용(Least-cost, but nutrition-balanced feed)의 전복용 배합사료의 개발이 반드시 필요하다.

따라서 전복의 안정적인 생산 및 생산성 향상 위해 전복의 영양요구량을 충족시켜 줄 수 있는 전복용 배합사료 개발을 위하여 사료내 단백질 요구량(Uki et al., 1986a; Mai et al., 1995b), 지질 요구량과 지질원(Mai et al., 1995a; Lee and Park, 1998), 지방산 요구량(Uki et al., 1986b), 탄수화물원 개발(Lee et al., 1998c) 및 성장 과 폐각 색체 개선을 위한 사료내 첨가제 개발(Lee et al., 1998b; Lim and Lee, 2003) 등에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있다. 그러나 전복용 배합사료의 경우 카제인(Casein)이 가장 우수한 단백질원으로 알려져 있으나, 카제인은 가격이 아주 높기 때문에 상업용 배합사료의 제조시 사료원으로 이용하기에는 부적합하며, 카제인 대체 단

백질원으로 다양한 형태의 동물성과 식물성 단백질원의 이용 가능성(Uki et al., 1985; Lee et al., 1998a; Bautista-Teruel et al., 2003) 및 갑각류분의 이용성(Cho et al., 2008) 등에 대한 연구가 수행된 바 있다. 전복용 배합사료내 카제인 대체 단백질원으로 여러 가지 대체 단백질원으로 어분(Fishmeal)이 우수한 것으로 알려져 있으며(Uki et al., 1985; Lee et al., 1998a) 어분은 전복용 배합사료뿐만 아니라 다른 유용 수산생물의 배합사료내 중요한 단백질원으로써 널리 이용되고 있다. 그러나 최근 어분으로 이용되고 있는 어류의 수산자원량 감소와 어분에 대한 수요 급증에 따른 어분의 국제 가격이 급등하고 있어 양식생산 비용을 상승시키는 주요 원인이 되고 있다. 따라서 몇몇 연구자들은 다양한 어류에 있어서 어분의 대체 가능성이 있는 단백질원인 대두박(Schmitz et al., 1984; Viyakarn et al., 1992; Gallagher, 1994; Gomes et al., 1995; McGoogan and Gatlin, 1997; Storebakken et al., 1998; Bautista-Teruel et al., 2003), 면실박(Cheng and Hardy, 2002), 우모분(Sugiura et al., 1998; Bureau et al., 1999) 및 육골분(Lee, 2002) 등의 대체 단백질원으로서의 이용 가능성을 연구하여 보고 하였다. 전복에 있어서 어분 대체 단백질원 개발에 대한 연구가 일부 보고 된 바 있으나 여전히 많이 부족한 실정이며, 최근 갑각류분 중에서도 새우머리분(shrimp head meal)이 우수한 단백질원으로 이용 가능한 것으로 보고된 바 있다(Cho et al., 2008).

일반적으로 참전복은 20℃ 내외에서 성장이 잘 된다고 알려져 있지만, 연중 수온변화가 뚜렷한 우리나라의 경우, 특히 여름철 빈번하게 발생하는 냉수대의 출현과 같은 급격한 수온 변화로 인하여 전복의 생산성 감소나 대량폐사를 야기 시키기는 원인이 되기도 한다. 그리고 겨울철 긴 저수온기는 성장 저하뿐만 아니라 스트레스를 야기 시키는 원인이 된다(Wi et al., 2000). 또한 전복의 연중 양식 과정 중에는 선별, 수송 및 시판 등의 목적으로 전복이 붙어 있는 파판이나 또는 사육시설로부터 떼 내어야 하는 과정이 전복에게 많은 스트레스로 작용하며 이러한 과정은 전복의 폐사를 야기 시키는 원인이 되기도 한다.

무척추동물에 있어서 스트레스에 관한 연구는 온도, 염분, 용존산소, 수용밀도 등 물리적 스트레스(Laughlin and Neff, 1981; Tsuchiya, 1983; Brown et al., 1995; Chen and Chen, 2000; Agnar and Albert, 2003; Pedro et al., 2004)와 일부 화학적 스트레스에 관한 연구(Laughlin and Linden, 1983; Harris et al., 1999)가 수행된 바 있으며, 이러한 스트레스는 질병에 대한 내성 감소, 성장을 감소, 먹이 섭취율 감소 및 호흡 대사율 변화를 유발한다고 알려져 있다. 특히, 다양한 형태의 스트레스는 전복의 면역성 저하 및 생리학적 변화(Martello and Tjeerdema, 2001; Malham et al., 2003; Vandepier, 2003; Cheng et al., 2004a, 2004b) 또는 성장을 저하(Capinpin et al., 1998; Day et al., 2004)를 야기 시킨다고 알려져 있다. 따라서 이러한 스트레스를 완화시킬 수 있는 사료첨가제의 개발이 절실히 필요하며, 일부 어류에 있어서 항산화 효과가 있는 첨가제를 이용한 연구가 수행된 바 있다(Hardie et al., 1991; Jang et al., 1992; Shin et al., 2000; Kwon et al., 2003; Puangkaew et al., 2004). 최근에는 동물에 있어서 녹차(Rhi and Shin, 1993; Wanasundara and Shahibi, 1998; Park et al., 2001; Saffari and Sadrzadeh, 2004; Paul and Michael, 2007), 무화과(Jeong et al., 2002; Lim et al., 2005) 및 *Haematococcus* (Krinsky, 1993; Bell et al., 2000)의 항산

화 효과가 알려져 있고, 특히 녹차(Cho et al., 2006)는 사료첨가제로써 수산생물에 적용하여 우수한 결과를 보였으며, 이들 원료를 전복양식용 배합사료내 첨가제로서 이용 가능할 수 있을 것으로 생각된다. 전복의 연중 양식과정 중에 발생하는 다양한 형태의 스트레스로 인하여 전복의 생산성 감소가 야기되고 있지만 아직까지도 이들 스트레스에 강한 전복 생산을 위한 사료첨가제 개발에 관한 연구는 거의 전혀 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실험 I 을 통하여 전복의 안정적인 성장 및 생산성 향상을 위한 전복용 배합사료내 어분을 대체할 수 있는 동물성 및 식물성 단백질원을 조사하였고, 실험 II 를 통하여 여러 가지 사료 첨가제 공급에 따른 전복의 성장과 다양한 스트레스에 대한 전복의 내성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 전복의 사육 및 관리

실험에 사용된 치패는 개인 전복양식장에서 구입하여 사육실험 조건에 2주간 적응시켰으며 적응 기간동안에는 건조다시마를 공급하여 주었다. 실험 I에 이용된 전복의 크기는 마리당 평균 10.0 g으로 27개의 50ℓ 수용기(51 cm × 36 cm)에 각각 50마리씩을 수용하였고, 실험 II에 이용된 전복의 크기는 마리당 평균 4.2 g으로 동일한 크기의 50ℓ 수용기 21개에 각각 70마리씩을 수용하였다. 전복 수용기는 1.3 톤 콘크리트 raceway(수량: 1.0 톤)당 7개의 수용기를 넣어 사육하였으며, raceway별 환수량은 120ℓ/min이었고 사육실험 기간 동안 충분한 양의 산소를 공급하여 주었다. 사료의 공급은 1일 1회 (17:00) 전복 전체중의 1.5~2.0% 되게끔 충분한 양의 먹이를 공급하여 주었다. 실험기간 동안 평균 사육수온은 21.6±1.79℃(실험 I) 및 20.1±1.20℃(실험 II)이었으며, 빛은 자연광주기를 따랐다. 전복의 사육실험은 각각 총 16주간이었다.

2.2 실험사료의 조성 및 일반성분

어분 대체 단백질원 개발을 위한 실험 I에 이용된 실험사료의 조성표 및 일반성분 분석 결과는 Table 1과 같다. 실험용 배합사료는 주요 단백질원으로는 어분과 새우머리분 및 다양한 동물성 부산물 및 식물성 단백질을 이용하였으며, 주요 탄수화물원으로는 텍스트린과 소맥분을 이용하였으며, 주요 지질원으로는 대두유와 어유를 이용하였다. 모든 실험용 배합사료에는 미네랄 premix 4%와 비타민 premix 2%를 각각 첨가하였으며, 알긴산나트륨(Sodium alginate) 22%를 첨가하였다. 어분 대체를 위한 동물성 단백질원으로 우모분을 이용한 실험사료(PM)는 우모분 33.5%와 우모분에 결핍되기 쉬운 필수아미노산인 Lysine과 DL-methionine을 1:1의 비율로 혼합한 Lysine+DL-methionine 혼합물을 1% 첨가하였으며, 잠용박을 이용한 실험사료(SPM)는 잠용박 32.5%와 잠용박에 결핍되기 쉬운 필수아미노산인 Lysine+DL-methionine 혼합물을 1% 첨가하였으며, 육골분을 이용한 실험사료(MB)는 육골분 59%와 육골분에 결핍되기 쉬운 필수아미노산인 Lysine+DL-methionine 혼합물을 1% 각각 첨가하였다. 어분 대체를 위한 식물성 단백질원으로 탈피대두박을 이용한 실험사료(SM)는 탈피대두박 58%와 탈피대두박에 결핍되기 쉬운 필수아미노산인 Methionine 0.5%를 첨가하였으며, 콘글루텐분을 이용한 실험사료(CM)는 콘글루텐분 37%와 콘글루텐분에 결핍되기 쉬운 필수아미노산인 Lysine 1%를 첨가하였다. 탈피대두박과 콘글루텐분의 혼합물을 이용한 실험사료(SM+CM)는 탈피대두박 29%와 콘글루텐분 18% 및 필수아미노산 혼합물인 Lysine+DL-methionine 1%를 첨가하였으며, 탈피대두박과 잠용박의 혼합물을 이용한 실험사료(SM+SPM)는 탈피대두박 29%와 잠용박 16% 및 필수아미노산 혼합물인 Lysine+DL-methionine 1%를 첨가하였으며, 콘글루텐분과 잠용박의 혼합물을 이용한 실험사료(CM+SPM)는 콘글루텐분 18%와 잠용박 17% 및 필수아미노산 혼합물인 Lysine+DL-methionine 1%를 각각 첨가하였다.

전복용 사료 첨가제 개발을 위한 실험 II에 이용된 실험사료의 조성 및 일반성분 분석 결과는 Table 2와 같다. 대조구의 실험사료는 주요 단백질원으로 어분 30%, 대두박 15% 및 새우머리

분 5%를 첨가하였으며, 탄수화물원으로 텍스트린 13%, 다시마분말 5% 및 소맥분 2%를 첨가하였고, 주요 지질원으로는 어유와 대두유를 각각 1%씩 첨가하였으며, 미네랄 premix 4%와 비타민 premix 2%를 각각 첨가하였으며, 알긴산나트륨(Sodium alginate)을 22%씩 첨가하였다. 녹차부산물 첨가사료(By-product of green tea, BPG)와 *Haematococcus* (HC, 주식회사 아쿠아넷) 첨가사료는 대조구(Con) 실험사료의 소맥분 1% 대신에 각각을 첨가하여 실험사료를 제조하였다. 그리고 액체상태의 첨가제인 무화과엑기스(EF), 녹차엑기스(EG)와 해록상품(PH, 전남 해남군 옥천면 영신리)은 농도가 1% 되도록 첨가하여 주었으며, 대조구와 동일한 사료 조성표를 이용하여 물 대신에 이들 액체상태의 첨가제를 첨가하여서 실험용 배합사료를 제조하였다. 마지막으로 전북 양식현장에서 많이 사용되고 있는 자연산 먹이인 다시마(Sea tangle, ST)를 공급하는 실험구를 두었다. 실험 I 과 실험 II에서 모든 실험구는 각각 3반복구를 두었다.

2.3 실험사료의 제조

실험사료의 성형은 각각의 사료 원료를 잘 혼합하여 혼합물 100 g 당 물 100 g을 가하여 다시 잘 혼합한 후 압착하여 가로 1 cm, 세로 1 cm, 두께 0.15 cm가 되도록 실험 사료를 절단한 후, 5%의 염화칼슘 수용액에 1분간 담구어서 알긴산나트륨을 칼슘염으로 치환시켰다. 제조된 실험사료는 응달에서 36시간 건조시킨 후 냉동고(-20℃)에 저장하며 사료 공급시마다 소량씩 사용하였다.

2.4 전복의 성장 측정 및 일반성분 분석

전복의 일반성분분석을 위하여 실험시작 시 10마리와 실험종료 시 각각의 실험구에서 10마리씩을 무작위로 샘플하여 냉동보관 (-75℃) 하였으며, 각 전복의 무게, 각장, 각폭 및 전체중에 대한 가식부의 비율을 측정된 후 가식부의 일반성분 분석을 실시하였다. 일반성분분석은 AOAC 표준방법(1990)에 따라 조단백질은 Kjeldahl method (Auto Kjeldahl System, Buchi B-324/435/412, Switzerland)과 조지방(에테르 추출법)을 분석하였으며, 조회분은 550℃ 회화로에서 4시간동안 태운 후 정량하였고, 수분은 105℃에서 24시간 후 측정하였다.

2.5 통계 분석

전복의 성장 측정 항목, 가식부의 일반성분 및 다양한 스트레스에 따른 전복의 누적 폐사율은 SAS version 9.1 (SAS Institute, Cary, NC, USA) program을 이용하여 One-way ANOVA와 Duncan's 다중분석법(Duncan, 1955)으로 실험구간의 유의성을 검증하였다.

2.6 전복의 다양한 스트레스에 대한 내성 평가

16주간의 사육실험 II 종료 후 다양한 스트레스에 대한 내성 평가를 위해 각각의 실험구에서 생존한 10마리씩의 전복을 무작위로 선별하여 스트레스 내성 평가를 위하여 플라스틱 수용기로 옮긴 후 각각의 실험사료를 1주일간 더 공급하여 16주간의 사육실험 종료시 전복의 성장

측정 동안 야기될 수 있는 스트레스를 최소화시켰다.

2.6.1 공기 중 노출 스트레스에 대한 전복의 내성 평가 실험

공기 중 노출 스트레스에 대한 전복의 내성 정도를 평가하기 위하여 각 실험구에서 무작위로 추출된 전복이 담긴 21개의 플라스틱 수용기(33 cm × 40 cm)를 공기중에 완전히 노출시켰다. 공기 노출 후 처음 6시간 동안은 1시간 간격으로 그 이후부터는 2시간 간격으로 전복의 폐사 개체수를 확인하였고, 총 30시간 노출시켰으며, 30시간 공기 노출 이후 생존한 개체만을 다시 원래의 사육 해수로 옮겨서 그 후 24시간 동안 생존율을 조사하였다.

2.6.2 염분의 급변화에 따른 전복의 내성 평가 실험

염분 변화에 따른 전복의 내성 정도를 평가하기 위하여 각 실험구에서 무작위로 추출된 전복이 담긴 21개의 플라스틱 수용기(51 cm × 36 cm)를 1개의 FRP 수조(용량: 25톤, 수량: 5.6톤)에 수용하였다. 일반해수 (31 psu)의 염분농도에서 사육하던 전복을 담수와 해수를 혼합하여 염분 농도가 15 psu로 맞추어져 있는 수조에 옮겨서 염분의 급격한 변화에 따른 시간별 전복의 생존율을 조사하였다.

2.6.3 수온의 급변화에 따른 전복의 내성 평가 실험

수온의 급변화시 야기될 수 있는 전복의 스트레스에 대한 내성을 조사하기 위하여 각 실험구에서 무작위로 추출된 전복이 담긴 21개의 플라스틱 수용기(33 cm × 40 cm)를 급격한 온도 차이를 유도하기 위하여 20℃에서 사육중이던 전복의 사육수온을 1일 1℃씩 낮추어 13℃되게끔 조절하여 적용시켰다. 13℃에 적용된 전복을 29℃의 해수로 바로 옮겨 넣은 후 4시간 동안 전복의 생존율을 조사한 후 다시 13℃ 원래의 해수로 옮겨서 1일간 전복의 생존율을 조사하였다.

3. 결 과

3.1 실험 I. 전복의 성장

전복용 배합사료내 어분 대체를 위한 다양한 단백질원을 이용하여 전복용 배합사료를 16주간 공급한 사육 실험 결과는 Table 3과 같다. 전복의 생존율(Survival)은 탈피대두박(SM)을 공급한 실험구와 탈피대두박과 잠용박의 혼합물(SM+SPM)을 공급한 실험구에서 콘글루텐분(CM), 잠용박(SPM), 육골분(MB) 및 콘글루텐분과 잠용박(CM+SPM)을 공급한 실험구에 비하여 유의적으로 높았으나($P<0.05$), 어분을 주요 단백질원으로 공급한 실험구인 대조구(Con)와 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 콘글루텐분과 잠용박의 혼합물(CM+SPM)을 공급한 실험구에서의 전복 생존율이 가장 낮게 나타났다(Fig. 1). 전복의 체중 증가(Weight gain)는 탈피대두박과 잠용박의 혼합물(SM+SPM)을 공급한 실험구에서 탈피대두박과 콘글루텐분의 혼합물(SM+CM)을 공급한 실험구를 제외한 다른 모든 실험구에 비하여 유의적으로 우수한 것으로 나타났다($P<0.05$). 그러나 우모분(PM), 콘글루텐분(CM), 잠용박(SPM), 육골분(MB) 및 콘글루텐분과 잠용박의 혼합물(CM+SPM)을 공급한 실험구에서의 체중 증가는 어분(Con)을 주요 단백질원으로 공급한 실험구에 비하여 유의적으로 낮은 것으로 나타났다($P<0.05$)(Fig. 2).

전복의 각장(Shell length)은 어분(Con)을 공급한 실험구에 비하여 탈피대두박과 콘글루텐분의 혼합물(SM+CM)을 공급한 실험구와 탈피대두박과 잠용박의 혼합물(SM+SPM)을 공급한 실험구에서 유의적으로 우수한 것으로 나타났으며($P<0.05$), 전복의 체중 증가와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 전복의 각폭(Shell width)은 탈피대두박과 콘글루텐분의 혼합물(SM+CM)을 공급한 실험구와 탈피대두박과 잠용박의 혼합물(SM+SPM)을 공급한 실험구에서 어분(Con)을 공급한 실험구에 비하여 유의적으로 우수한 것으로 나타났으며($P<0.05$), 전복의 체중 증가와 유사한 경향을 보였다. 전복의 체중에 대한 가식부의 비(Carcass weight/total weight)은 탈피대두박과 콘글루텐분의 혼합물(SM+CM)을 공급한 실험구에서 어분(Con)을 주요 단백질원으로 공급한 실험구에 비하여 유의적으로 높은 값을 보였으며($P<0.05$), 콘글루텐분(CM)을 공급한 실험구에서 가장 낮은 값을 보였다.

3.2 실험 I. 전복 가식부의 일반성분 분석 결과

16주간의 사육 실험 종료 후 생존한 전복의 가식부 일반성분 분석 결과는 Table 4와 같다. 전복 가식부의 수분 함량은 콘글루텐분(CM) 및 콘그루텐분과 잠용박의 혼합물(CM+SPM)을 공급한 실험구에서 육골분(MB)을 공급한 실험구를 제외한 다른 모든 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 어분(Con)을 주요 단백질원으로 공급한 실험구에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 전복 가식부의 조단백질 함량은 잠용박(SPM)을 공급한 실험구에서 우모분(PM), 콘글루텐분(CM) 또는 콘글루텐분과 잠용박의 혼합물(CM+SPM)을 공급한 실험구에 비하여 유의적으로 높았지만($P<0.05$), 어분(Con)을 주요 단백질원으로 공급한 실험구와 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 전복 가식부의 조지질함량은 어분(Con)을 주요 단백질원으로 공급한 대조구에서 다른 실험구에 비하여 유의적으로 높은 것으로 나타났으며($P<0.05$), 육골분(MB)

을 공급한 실험구에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 전복 가식부의 회분 함량은 실험구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

3.3 실험 II. 전복의 성장

실험사료를 16주간 공급한 전복의 성장 결과는 Table 5와 같다. 전복의 생존율은 다시마(ST)를 공급한 실험구에서 가장 우수한 것으로 나타났으나, 무화과엑기스(EF) 또는 해록상품(PH)을 첨가한 실험구와 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 녹차엑기스(EG)를 첨가한 실험구에서의 생존율이 가장 낮게 나타났다(Fig. 3). 그러나 전복의 체중 증가는 다시마를 공급한 실험구에서 실험사료를 공급한 모든 실험구에 비하여 유의적으로 낮게 나타났다($P<0.05$). 특히 해록상품을 첨가한 실험구에서 전복의 체중증가가 가장 우수한 것으로 나타났으며, 무화과엑기스 및 녹차엑기스 첨가 실험구의 순으로 전복의 체중증가가 우수하였으며, 이들 3종류의 첨가 실험구에서 전복의 체중증가는 녹차부산물(BPG) 첨가 실험구에서의 체중 증가보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$)(Fig. 4). 전복의 각장은 다시마를 공급한 실험구에서 다른 실험사료 공급구에 비하여 유의적으로 낮게 나타났으나($P<0.05$), 실험사료를 공급한 모든 실험구간에 유의적인 차이는 없었다. 그리고 전복의 각쪽이나 전체중에 대한 가식부의 비는 모든 실험구간에 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$).

3.4 실험 II. 전복 가식부의 일반성분 분석 결과

전복의 사육실험 종료시 전복 가식부의 일반성분 분석 결과는 Table 6과 같다. 수분 함량은 79.1~80.7%, 조단백질 함량은 12.6~13.9%, 조지질 함량은 0.8~1.2% 및 회분 함량은 2.2~2.5%의 범위이었으나, 모든 실험구간에 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$).

3.5 실험 II. 공기 중 노출 스트레스에 대한 전복의 내성 평가

전복을 공기중에 30시간 노출시킨 이후 다시 해수에 넣어서 24시간 동안 관찰시 전복의 누적 폐사율은 Fig. 5와 같다. 대조구(Con)사료를 공급한 실험구에서 공기 중 노출시킨 이후 14시간째부터 전복의 폐사가 관찰되기 시작하여 24시간에 대조구사료를 공급한 실험구에서 생존율이 가장 낮게 나타났다. 그러나 공기중에 30시간 노출 시까지 다시마(ST)를 공급한 실험구에서는 전혀 폐사가 관찰되지 않았다. 30시간 노출 시까지 가장 높은 폐사율을 보인 대조구와 녹차엑기스 첨가구(EG)에 비하여 무화과엑기스(EF) 및 *Haematococcus* (HC) 첨가 사료 공급구에서는 낮은 누적폐사율이 관찰되었다. 30시간 공기중 노출이후 다시 해수에 넣어서 24시간 경과 후 다시마(ST)를 공급한 실험구에서는 6.7%의 가장 낮은 누적폐사율을 보였으나, 녹차엑기스 첨가구(60%) 및 대조구(57%)에서 비교적 높은 누적폐사율을 보였다.

3.6 실험 II. 염분의 급변화에 따른 전복의 내성 평가

염분의 급변화에 따른 전복의 누적폐사율은 Fig. 6에 나타내었다. 자연해수의 염분농도(33 psu)

에서 사육중이던 전복을 15 psu의 사육수로 옮겼을 때 5시간째부터 다시마를 먹이로 공급한 전복에서부터 폐사가 관찰되기 시작하였고, 대조구를 제외한 모든 실험구에서 다시마보다 낮은 폐사율을 보였으며, 6시간이후부터 폐사율이 급격하게 증가하기 시작하였으며, 8시간에 무화과 엑기스와 *Haematococcus* 첨가 실험구에서 비교적 낮은 폐사율이 관찰되었지만, 24시간 이내에 전량 폐사하였다.

3.7 실험 II. 수온의 급변화에 따른 전복의 내성 평가

급격한 수온변화에 따른 전복의 누적폐사율은 Fig. 7과 같다. 13℃에서 성장하던 전복을 29℃ 해수로 옮긴 후 1시간째 *Haematococcus* (HC), 녹차부산물(BPG) 및 무화과엑기스(EF)를 첨가한 사료 공급구에서는 일부 폐사가 관찰되었으며, 6시간 이후부터는 다시마를 제외한 모든 실험구 중 *Haematococcus* 첨가구에서 가장 높은 생존율을 보였다.

4. 논 의

4.1 실험 I

어분(Con)을 단일 단백질원으로 공급한 대조구와 대체 단백질원인 우모분(PM), 육골분(MB), 콘글루텐분(CM) 및 잠용박(SPM)을 단일 단백질원으로 공급한 실험구에 비해 탈피대두박(SM)을 단일 단백질원으로 공급한 실험구에서 높은 성장을 나타내었다. 또한 혼합물 공급 실험구를 포함하더라도 탈피대두박을 포함하는 탈피대두박과 잠용박의 혼합물(SM+ SPM) 및 탈피대두박과 콘글루텐분의 혼합물(SM+CM) 공급구에서 가장 높은 성장을 보였다. Lee et al.(1998a)는 전복의 단백질원으로 콘글루텐분 및 우모분의 첨가는 전복의 성장을 향상 시키지 못하는 것으로 나타났으며, 사료내 탈피대두박을 사용하였을 때 유의적인 차이를 보이지 않는 범위에서 어분을 사용한 것에 비해 낮은 성장을 보여, 탈피대두박을 단일 단백질원으로 공급한 실험구에서 유의적인 차이는 없지만 어분을 단일 단백질원으로 공급한 실험구에 비해 높은 성장을 보인 본 실험의 결과와 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 사육 환경 및 본 실험에 사용된 새우머리분과 다시마분말 등 사료내 포함된 원료의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 배합사료내 starch 혹은 cellulose와 같은 다당류를 첨가 하였을 때 초식동물의 소화기관 내부에 존재하는 미생물에 의한 발효 활성을 촉진하여 소화능력을 증진시키고(Mould 1988; Pond et al. 1995), 자연 상태에서 주로 대형조류를 섭취하는 초식성 복족류에서처럼 전복의 소화기관 내부에 존재하는 미생물학적 발효 활성을 자극할 경우 소화능력이 향상된다는 연구 결과(Harris et al. 1998)를 고려할 때 본 실험 결과는 초식성인 전복의 배합사료내 비교적 섬유질을 많이 포함하는 식물성 단백질원인 탈피대두박의 첨가가 전복의 소화능력을 향상시키고, 향상된 소화능력이 전복의 성장에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

그리고 탈피대두박(SM)을 단독 단백질원으로 공급한 실험구에 비해 탈피대두박과 콘글루텐분의 혼합물(SM+CM), 탈피대두박과 잠용박의 혼합물(SM+SPM)을 단백질원으로 공급한 실험구에서 더 좋은 전복의 성장 결과가 나타났다. Salse and Britz (2002)는 전복(*Haliotis midae*)를 이용한 실험에서 탈피대두박의 단백질 소화율이 97%로 계산되었지만, 사료내 주요 단백질원인 어분 대신 30%의 탈피대두박을 대체하였을 때 103%의 단백질 소화율을 나타내었고, 주요 단백질원인 카제인 대신 30%의 탈피대두박을 대체하였을 때 85%의 단백질 소화율을 나타내어 첨가된 단백질원의 종류에 따라서 소화율을 증가 또는 감소시킬 수 있음을 보고하였다. 일부 어류를 대상으로 어분대체를 위한 사료내 탈피대두박 첨가 실험은 어분의 일부분을 대체하기 위해 수행되고 있고, 성공적인 결과를 나타내었다(McGoogan and Gatlin 1997; Gallagher 1994; Viyakarn et al. 1992). 특히 Kikuchi (1999)는 넙치를 이용한 어분 대체 실험에서 어분+탈피대두박+혈분+담치분 및 어분+탈피대두박+콘글루텐분+담치분의 혼합물 공급구에서의 성장은 어분을 공급한 실험구 및 담치분을 제외한 어분+탈피대두박+혈분 및 어분+탈피대두박+콘글루텐분의 혼합물을 공급한 실험구에서의 성장에 비해 높은 결과를 나타내었으며, 이러한 결과는 단백질 효율 및 사료섭취율의 차이로 판단하였다. 따라서 각 단백질원에 따라 포함된 단백질의 질적인 차이가 있고 단백질원간 상호작용이 단백질 효율을 높여 성장에 영향을 미치거나, 단백질이 영

양분으로서 역할 이외에도 다른 사료첨가제 역할을 수행할 수 있음을 알 수 있고, 전복용 배합 사료내 단백질원 대체에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 본 실험 결과와 종합해 볼 때 전복용 배합사료내 단백질원 대체는 탈피대두박을 단일 단백질원으로 공급하는 것보다 소화능력을 향상시키는 단백질원과 사료내 단백질의 질을 향상시키거나 단백질효율 및 사료섭취율을 증진 시킬 수 있는 단백질을 함께 사용하는 것이 전복의 성장을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4.2 실험 II

전복의 성장은 실험사료를 공급한 실험구에서 다시마(ST)를 공급한 실험구에 비해 높은 성장을 나타내었는데 Lee and Park (1998)의 연구에서 다시마(ST)를 공급한 실험구의 체중증가가 배합사료를 공급한 실험구에 비하여 낮게 나타나 본 실험과 유사한 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 건조 다시마에 포함된 주요 영양소(단백질 및 지질) 함량이 전복의 빠른 성장을 위해 요구되는 영양요구량을 충족시켜주지 못하는 것에 기인하는 것으로 생각된다(Table 5). 또한, 녹차부산물(BPG)을 첨가한 배합사료를 공급한 실험구에 비하여 해록상품(PH), 무화과엑기스(EF) 및 녹차엑기스(EG)를 첨가한 배합사료를 공급한 실험구에서 전복의 우수한 성장 결과를 보였는데, 이것은 해록상품, 무화과엑기스와 녹차엑기스가 전복용 배합사료 첨가제로서 이용 가능한 것을 의미한다.

공기 노출 스트레스에 강한 전복 생산을 위한 사료첨가제 개발을 위한 본 실험 결과 다시마의 공급이 실험용 배합사료 공급보다 전복의 생존율 개선면에서 우수한 결과를 보여서 Kim et al. (2003)의 연구 결과와 일치한다. 다시마 추출물의 항암 및 항돌연변이에 대한 활성이 보고되어 있으며(Ryu et al., 1986; Park et al., 1998; Kim et al., 2005), 이러한 연구를 토대로 다시마가 포함하는 유용 성분이 전복의 생존율과 밀접한 관련이 있음을 추측할 수 있다. 그러나 배합사료의 첨가제 개발을 위한 연구로써 다시마 공급구를 제외하면, 대조구사료를 공급한 실험구에서 전복의 폐사율이 녹차엑기스를 제외한 다른 첨가제(녹차부산물, 무화과엑기스, 해록상품 및 *Haematococcus*)를 공급한 실험구에 비하여 높은 폐사율을 보여서 녹차엑기스를 제외한 다양한 사료첨가제들이 전복의 노출 스트레스에 대해 내성을 증진시키는 효과가 있는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 녹차엑기스 첨가가 넙치의 면역성을 향상 시킨다는 이전의 연구(Cho et al., 2006)와 대조적이었으며, 녹차부산물 첨가구에서 공기중 노출시 전복의 내성 개선효과를 고려할 때, 이러한 차이는 종간의 차이에 기인하는 것으로 판단되며, 넙치와 다르게 전복이 이용할 수 있는 녹차의 형태가 엑기스 형태보다는 부산물 형태임을 알 수가 있다.

Jeong et al. (2002)의 연구에서 무화과 분말의 메탄올추출액의 라디칼 소거능에 의한 항산화활성을 측정하였는데 무화가 1개 농도에서 47.98%의 라디칼 소거능을 보이는 결과를 나타내었고, 본 연구의 결과에서도 무화과엑기스 첨가한 사료를 공급한 실험구에서의 전복 생존율이 다른 실험구에 비하여 비교적 높은 것을 고려할 때, 무화과엑기스는 염분의 급변화 스트레스 완화용 배합사료의 첨가제로서 유용하다고 판단된다.

다시마(ST)를 공급한 실험구에서는 수온 급변화 이후 실험 종료시까지 가장 높은 생존율을 보였으나, 다시마를 공급한 실험구를 제외한 배합사료들간의 첨가제 효과를 비교하면, 대조구보다 높은 생존율을 보인 실험구는 *Haematococcus* 첨가구가 유일하다. *Haematococcus*가 포함하는 astaxanthin의 항산화 효과가 여러 연구에 의해 알려져 있으며(Krinsky, 1993; Bell et al., 2000), 전복의 수온 급변화에 대한 내성을 높일 수 있는 사료 첨가제로 *Haematococcus*의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

전복의 생존율 및 성장을 고려해 볼 때 현재 상업용 배합사료에 주로 사용되는 어분을 대체할 수 있는 단백질원으로 식물성 단백질원인 탈피대두박이 가장 우수한 것으로 판단되어지며, 탈피대두박을 단일 단백질원으로 이용하는 것보다 식물성 단백질원인 콘글루텐분 및 동물성 단백질원인 잠용박을 혼합하여 사용하는 것이 전복의 안정적인 생산 및 생산량 개선에 도움이 될 것으로 판단된다. 그리고 전복의 성장 개선면에서는 실험사료가 다시마보다 우수하고, 다양한 형태(공기중 노출, 염분 급변화 또는 사육수온 급변화)의 스트레스 조건하에서 다시마의 공급이 비교적 낮은 폐사율을 보였지만, 사료첨가제로써 *Haematococcus*와 무화과엑기스는 공기중 노출이나 염분의 급변화와 같은 스트레스에 대한 내성을 향상시킬 수 있는 사료첨가제로 이용 가능할 것으로 사료된다.

6. 감사의 글

2년 동안의 연구결과를 이렇게 세상에 내놓게 되었습니다. 이 결실이 맺어지기까지 많은 분들의 도움이 있었기에 이 자리를 빌어 감사를 표합니다.

부족한 저를 이 자리에 서기까지 많은 조언과 가르침으로 이끌어 주신 조성환 교수님께 감사드립니다. 심사하시면서 많은 가르침을 주신 박인석 교수님과 최철영 교수님께 감사드리며 학부생활에 많은 가르침을 주신 해양환경생명과학부의 강효진 교수님, 노일 교수님, 서영완 교수님, 안중웅 교수님, 이호진 교수님, 임선영 교수님, 이경은 교수님도 감사드립니다.

사료영양공학연구실이라는 한 공간 안에서 함께 울고 웃었던 랩원들의 얼굴이 떠오릅니다. 연구실 생활을 하면서 부족한 점이 많았을 저를 아껴주고 감싸주었던 상목이 형, 범희선배에게 너무나도 감사드립니다. 또한 함께 고생한 충일이, 진우, 영진이, 하나 모두들 감사합니다.

항상 곁에서 힘이 되어 주며 대학생활 동안의 소중한 벗 들인 지은이, 현난이, 정희, 승원이, 성훈이... 모두 감사드립니다. 이름을 다 거론하진 못했지만 절 지켜봐주신 선배님들, 동기들, 후배들에게 감사드립니다.

가족이란 울타리 안에서 항상 걱정이 많으신 부모님, 누나들, 매형들에게도 감사드립니다.

힘들고 지친 날도 많았고 뿌듯하고 뜻깊은 일도 많은 소중한 시간이었습니다. 많은 분들의 도움이 없었다면 이 자리에 설 수 없었습니다. 앞으로 펼쳐질 길에 대해 두려움이 앞서지만 사랑하는 모든 분들과 저를 믿는 벗들... 모두에게 부끄럽지 않은 사람이 되기 위해 더욱 열심히 노력하겠습니다.

2008년 7월 7일

지성춘

참고문헌

- Agnar, S. and Albert, K.I., Size dependent variation in optimum growth temperature of red abalone (*Haliotis rufescens*). *Aquaculture*, 224; 353~362, (2003)
- AOAC., Official Methods of Analysis, 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA. (1990)
- Bautista-Teruel, M.N., Fermin, A.C. and Koshio, S.S., Diet development and evaluation for juvenile abalone, *Haliotis asinina*: animal and plant protein sources. *Aquaculture*, 219; 645~653, (2003)
- Bell, J.G., McEvoy, J., Tocher, D.R. and Sargent, J.R., Depletion of α -tocopherol and astaxanthin in atlantic salmon (*Salmo salar*) affects autoxidative defense and fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition*, 130; 1800~1808, (2000)
- Brown, P.B., Willson, K.A., Wetzel, J.E. II and Hoene, B., Increased densities result in reduced weight gain of crayfish *Orconectes virilis*. *Journal of The World Aquaculture Society*, 26; 165~171, (1995)
- Bureau, D.P., Harris, A.M. and Cho, C.Y., Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 180; 345~358, (1999)
- Capinpin, E.C., Toledo, J.D., Encena, V.C. and Doi, M., Density dependent growth of the tropical abalone *Haliotis asinina* in cage culture. *Aquaculture*, 171; 227~235, (1998)
- Chen, J.C. and Chen, W.C., Salinity tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Aquaculture*, 181; 191~203, (2000)
- Cheng W., Hsiao, I.S., Hsu, C.H. and Chen, J.C., Change in water temperature on the immune response of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 17; 235~243, (2004a)
- Cheng, W., Li, C.H. and Chen, J.C., Effect of dissolved oxygen on the immune response of *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture*, 232; 103~115, (2004b)
- Cheng, Z.J. and Hardy, R.W., Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 212; 361~372, (2002)
- Cho, S. H., Lee, S.M., Park, B.H., Ji, S.C. and Kwon, M.G., Effect of dietary inclusion of various sources of green tea on immune system and challenging test of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Aquaculture*, 19; 48~89, (2006)
- Cho, S.H., Park, J., Kim, C. and Yoo, J.-H., Effect of casein substitution with fishmeal, soybean meal and crustacean meal in the diet of abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture Nutrition*, 14; 61~66, (2008)
- Day, R., Gilmour, P. and Huchette, S., Effects of density and food supply on postlarval abalone: behaviour, growth and mortality. *Journal of Shellfish Research*, 23; 1009~1018, (2004)

- Duncan, D. B., Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11; 1~42, (1955)
- Gallagher, M.L., The use of soybean meal as a replacement for fish meal in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis*×*M. chrysops*). *Aquaculture*, 126; 119~127, (1994)
- Gomes, E.F., Rema, P. and Kaushik, S.J., Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture*, 130; 177~186, (1995)
- Han, S.J. Abalone Culture. pp. 260. Guduk Publishing, Busan, Korea. (1998)
- Hardie, L.J., Fletcher, T.C. and Secombes, C.J., The effect of dietary vitamin C on the immune response of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 95; 201~214, (1991)
- Harris, J.O., Burke, M.C. and Maguire, G.B., Characterization of the digestive tract of greenlip abalone, *Haliotis laevigata* Donovan: I. Morphology and histology. *Journal of Shellfish Research*, 17; 979~988, (1998)
- Harris, J.O., Maguire, G.B., Edwards, S.J. and Johns, D.R., Low dissolved oxygen reduces growth rate and oxygen consumption rate of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevigata* Donovan. *Aquaculture*, 174; 265~278, (1999)
- Jang, S.I., Jo, J.Y. and Lee, J.S., Effects of vitamins and glycyrrhizin added to oxidized diets on the growth and on the resistance to Edwardsiella injection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of Aquaculture*, 5; 143~155, (1992)
- Jeong, M.R., Kim, B.S. and Lee, Y.E., Physicochemical characteristics and antioxidative effects of Korean Figs (*Ficus carica* L.). *Journal of East Asian Society Dietary Life*, 12; 566~573, (2002)
- Kikuchi, K., Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys oliaceus*). *Aquaculture*, 179; 3~11, (1999)
- Kim, C.W., Lim, S.G., Kim, K.S., Baek, J.M. and Park, C.S., Influence of water temperature on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) fed an artificial formulated diet and macroalgae (*Laminaria japonica*). *Journal of the Korean Fisheries Society*, 36; 586~590, (2003)
- Kim, S.A., Kim, J., Woo, M.K., Kwak, C.S. and Lee, M. S., Antimutagenic and cytotoxic effects of ethanol extracts from five kind of seaweed. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 34; 451~459, (2005)
- Krinsky, N.I., Actions of carotenoids in biological systems. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 13; 561~587, (1993)
- Kwon, M.G., Park, S.U., Bang, J.D., Cho, B.Y., Lee, S.M. and Park, S.I., The effects of supplementary diets on the water temperature stress in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Fish Pathology*, 16; 183~191, (2003)
- Laughlin, R.B. and Neff, J.M., Ontogeny of respiratory and growth responses of larval mud crabs *Rhithropanopeus harristii* exposed to different temperature, salinities, and naphthalene

- concentration. Marine Ecology Progress Series, 5; 319~332, (1981)
- Laughlin, R.B. and Linden, O., Oil pollution and Baltic mysid: Acute and chronic effects of the Water soluble fractions of light fuel oil on the mysid shrimp *Neomysis integer*. Marine Ecology Progress Series, 12; 29~41, (1983)
- Lee, S.M., Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 207; 79~95, (2002)
- Lee, S. and Park, H.G., Evaluation of dietary lipid sources for juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). Journal of Aquaculture, 11; 381~390, (1998)
- Lee, S., Yun, S.J. and Hur, S.B., Evaluation of dietary protein sources for abalone (*Haliotis discus hannai*). Journal of Aquaculture, 11; 19~29, (1998a)
- Lee, S., Lim, Y., Moon, Y.B., Yoo, S.K. and Rho, S., Effects of supplemental macroalgae and Spirulina in the diets on growth performance in juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). Journal of Aquaculture, 11; 31~38, (1998b)
- Lee, S., Yun, S.J., Min, K.S. and Yoo, S.K., Evaluation of dietary carbohydrate sources for juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). Journal of Aquaculture, 11; 133~140, (1998c)
- Lim, K.T., Lee, S.J., Ko, J.H. and Oh, P.S., Hypolipidemic effects of glycoprotein isolated from *Ficus Carica* Linnoeus in mice. Korean Journal of Food Science and Technology, 37; 624~630, (2005)
- Lim, T. and Lee, S., Effect of dietary pigment sources on the growth and shell color of abalone (*Haliotis discus hannai*). Journal of Aquaculture, 36; 601~605, (2003)
- Mai, K., Mercer, J.P. and Donlon, J., Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. III. Responses of abalone to various levels of dietary lipid. Aquaculture, 134; 65~80, (1995a)
- Mai, K., Mercer, J.P. and Donlon, J., Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. IV. Optimum dietary protein level for growth. Aquaculture, 136; 165~180, (1995b)
- Malham, S., Lacoste, A., Gelebart, F., Cueff, A. and Poulet, S., Evidence for a direct link between stress and immunity in the mollusc *Haliotis tuberculata*. Journal of Experimental Zoology, 295; 136~144, (2003)
- Martello, L. and Tjeerdema, R.S., Combined effects of pentachlorophenol and salinity stress on chemiluminescence activity in two species of abalone. Aquatic Toxicology, 51; 351~362, (2001)
- McGoogan, B.B. and Gatlin, D.M. III, Effects replacing fish meal with soybean meal in diets for red drum *Sciaenops ocellatus* and potential for palatability enhancement. Journal of The World Aquaculture Society. 28; 374~385, (1997)
- Mould, F.L., Associative effects of feed. In: Øskov, E.R. (Ed.), Feed Science, World Animal Science B4.

- Elsevier, Amsterdam, pp. 177~202, (1988)
- Park, Y.B., Ahn, J.K., Yoo, S.J., Park, D.C., Kim, I.S., Park, Y.H. and Kim, S.B., Elucidation of anti-tumor initiator and promoter derived from seaweed-4: desmutagenic principles of *Ecklonia stolonifera* extracts against carcinogenic heterocyclic amines. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 27; 537~542, (1998)
- Park, B.H., Choi, H.K. and Cho, H. S., Antioxidant effect of aqueous green tea on soybean oil. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 30; 552~556, (2001)
- Paul, R. and Michael, J.H., The kinetics and mechanisms of the complex formation and antioxidant behaviour of the polyphenols EGCg and ECG with iron(III). *Journal of Inorganic Biochemistry*, 101; 585~593, (2007)
- Pedro, E. S., Lucia, O., Mario, M. and Horacio, B., Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (hanley, 1856). *Aquaculture*, 229; 377~387, (2004)
- Pond, W.G., Church, D.C. and Pond, K.R., *Basic Animal Nutrition and Feeding*, 4th edn. Wiley, New York, pp. 615, (1995)
- Puangkaew, J., Kiron, V., Somamoto, T., Okamoto, N., Satih, S., Takeuchi, T. and Watanabe, T., Nonspecific immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) in relation to different status of vitamin E and highly unsaturated fatty acids. *Fish & Shellfish Immunology*, 16; 25~39, (2004)
- Rhi, J.W. and Shin, H.S., Antioxidant effect of aqueous extract obtained from green tea. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 25; 758~763, (1993)
- Ryu, B.H., Chi, B.S., Kim, D.S. and Ha, M.S., Desmutagenic effect of extracts obtained from seaweeds. *Bull. Korean Fish.*, 19; 502~508, (1986)
- Saffari, Y. and Sadrzadeh, S.M.H., Green tea metabolite EGCG protects membranes against oxidative damage in vitro. *Life Sciences*, 74; 1513~1518, (2004)
- Sales, J. and Britz, P.J., Evaluation of the reference diet substitution method for determination of apparent nutrient digestibility coefficients of feed ingredients for South African abalone (*Haliotis midae* L.). *Aquaculture*, 207; 113~123, (2002)
- Schmitz, O., Greuel, E. and Pfeffer, E., Digestibility of crude protein and organic matter of potential sources of dietary protein for eels (*Anguilla anguilla* L.). *Aquaculture*, 41; 21~30, (1984)
- Shin, I.S., Masuda, H. and Kinae, N., Inhibitory effect of Sawa-wasabi (*Wasabia japonica*) on the growth of fish pathogenic bacteria. *The Journal of East Coastal Research*, 11; 65~74, (2000)
- Storebakken, T., Shearer, K.D. and Roem, A.J., Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein- concentrate-based diets to Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture*, 161; 365~379, (1998)

- Sugiura, S.H., Dong, F.M., Rathbone, C.K. and Hardy, R.W., Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture*, 159; 177~202, (1998)
- Tsuchiya, M., Mass mortality in a population of the mussel *Mytilus edulis* L. caused by high temperature on rocky shores. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 66; 101~111, (1983)
- Uki, N., Kemuyama, A. and Watanabe, T., Nutritional evaluation of several protein sources in diets for abalone *Haliotis discus hannai*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 51; 1835~1839, (1985)
- Uki, N., Kemuyama, A. and Watanabe, T., Optimum protein level in diets for abalone. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 52; 1005~1012, (1986a)
- Uki, N., Sugiura, M. and Watanabe, T., Requirement of essential fatty acids in the abalone *Haliotis discus hannai*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 52; 1013~1023, (1986b)
- Vandeppeer, M., 2003. Inducement of mortality and/or bloat in abalone held in laboratory and outside take through temperature, flow rate and stocking density manipulation. In: Fleming AE, editor. *Proceeding of the 10th Annual Abalone Aquaculture Workshop*. Canberra: Fisheries Research and Development Corporation, pp. 103-122.
- Viyakarn, V., Watanabe, T., Aoki, H., Tsuda, H., Sakamoto, H., Okamoto, N., Iso, N., Satoh, S. and Takeuchi, T., Use of soybean meal as a substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58; 1991~2000, (1992)
- Wanasundara, U. N. and Shahibi, F., Antioxidant and pro-oxidant activity of green tea extracts on marine oils. *Food Chemistry*, 63; 335~342, (1998)
- Wi, C.H., Chang, Y.J., Lee, B.C. and Lee, S.J., Temperature effects on the growth and survival rates in the wintering of young abalone, *Haliotis discus hannai*. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute*. Korea, 58; 50~55, (2000)

Table 1. Ingredients of the experimental diets in the experiment I (%).

	Experimental diets								
	Con	SM	PM	CM	SPM	MB	SM+ CM	SM+ SPM	CM+ SPM
Ingredients									
Fishmeal ¹	35								
Shrimp head meal ¹	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Soybean meal ¹		58					29	29	
Poultry meal ¹			33.5						
Corn gluten meal ¹				37			18		18
Silkworm pupae meal dehydrated ¹					32.5			16	17
Meat and bone meal ¹						59			
Lysine ²				1					
DL-methionine ³		0.5							
Lysine+DL-methionine			1		1	1	1	1	1
Dextrin ⁴	26	0.5	27	21.3	27.5	3	11.1	14	23.5
Sea tangle powder	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Wheat flour	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Soybean oil	2	2		1.7			1.9	1	1.5
Fish oil		2	1.5	2	2		2	2	2
Sodium alginate ⁵	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Vitamin premix ⁶	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mineral premix ⁷	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Nutrients (%)									
Moisture	77.7	78.5	78.6	78.2	77.3	76.1	69.6	75.4	76.4
Crude protein	27.6	30.9	29.1	26.3	29.8	27.1	27.4	31.4	25.8
Crude lipid	5.0	3.2	4.8	4.7	3.0	6.6	3.2	2.9	4.6
Ash	12.0	10.9	7.7	7.0	10.1	31.1	8.7	10.4	8.1

¹Fishmeal, ¹soybean meal, ¹poultry meal, ¹corn gluten meal, ¹silkwarm pupae meal dehydrated, ¹meat and bone meal, and ¹shrimp head meal were supplied by Jeilfeed Co. Ltd. (Haman, Gyeongsangnam-do, Korea).

²Lysine: purity over 98%

³DL-methionine: purity over 99% (Sumitomo Chemical, Japan)

⁴Dextrin was purchased from Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

⁵Sodium alginate was purchased from Sigma Chemical, USA.

⁶Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g kg⁻¹ mix): L-ascorbic acid, 200; α -tocopheryl acetate, 20; thiamin hydrochloride, 5; riboflavin, 8; pyridoxine, 2;

niacin, 40; Ca-D-pantothenate, 12; myo-inositol, 200; D-biotin, 0.4; folic acid, 1.5; p-amino benzoic acid, 20; K₃, 4; A, 1.5; D₃, 0.003; choline chloride, 200; cyanocobalamin, 0.003.

⁷Mineral premix contained the following ingredients (g kg⁻¹ mix): NaCl, 10, MgSO₄·7H₂O, 150; NaH₂PO₄·2H₂O, 250; KH₂PO₄, 320; CaH₄(PO₄)₂·H₂O, 200; Ferric citrate, 25; ZnSO₄·7H₂O, 4; Ca-lactate, 38.5; CuCl, 0.3; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KIO₃, 0.03; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2; CoCl₂·6H₂O, 0.1.

Table 2. Ingredients of the experimental diets in the experiment II(%).

	Experimental diets						
	Con	BPG	EM	EF	PH	HC	ST
Ingredients							
Fishmeal ¹	30	30	30	30	30	30	
Soybean meal ¹	15	15	15	15	15	15	
Shrimp head meal ¹	5	5	5	5	5	5	
Dextrin ²	13	13	13	13	13	13	
Sea tangle powder	5	5	5	5	5	5	
Wheat flour	2	1	2	2	2	1	
By-product of green tea ³		1					
Extract of figs ⁴			+				
Extract of green tea ⁴				+			
Product of Hearok ⁴					+		
<i>Haematococcus</i> ⁵							1
Soybean oil	1	1	1	1	1	1	1
Fish oil	1	1	1	1	1	1	1
Sodium alginate ⁶	22	22	22	22	22	22	22
Mineral premix ⁷	4	4	4	4	4	4	4
Vitamin premix ⁷	2	2	2	2	2	2	2
Sea tangle							100
Nutrients (%)							
Moisture	83.9	80.3	80.2	81.3	80.9	80.0	86.3
Crude protein	30.6	30.7	32.0	30.8	31.1	30.5	5.0
Crude lipid	4.0	3.9	4.0	5.4	5.1	5.3	0.6
Ash	12.1	12.4	12.1	12.1	12.2	12.3	21.6

¹Fishmeal, 1soybean meal and 1shrimp head meal were supplied by Jeilfeed Co. Ltd. (Haman, Gyeongsangnam-do, Korea).

²Dextrin was purchased from Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

³By-product of green tea was purchased from Hanbattea Co. Ltd. (Hadong-gun, Gyeong sangnam-do, Korea)

⁴Extract of figs, ⁴extract of green tea and ⁴product of Hearok were purchased from Haeroc Co. Ltd. (He-nam gun, Jeollanam-do, Korea).

⁵*Haematococcus* was purchased from Aquanet Co. Ltd. (Tongyeong city, Gyeong sangnam-do, Korea).

⁶Sodium alginate was purchased from Sigma Chemical, USA.

⁷Vitamin and mineral premix was same as in the experiment I.

+ indicates that aqueous type of each additive was included into the experimental diets instead of the same amount of water.

Table 3. Survival (%), weight gain (g/abalone), shell length (mm), shell width (mm) and the ratio of carcass weight to total weight of abalone fed the experimental diets in the experiment I (Mean±SE).

Diets	Initial weight of abalone (g)	Final weight of abalone (g)	Survival (%)	Weight gain of abalone (g/abalone)	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Carcass weight/total weight
Con	10.1±0.03	16.0±0.24 ^c	96.0±3.06 ^{ab}	5.9±0.22 ^c	50.1±0.30 ^b	32.5±0.18 ^b	0.7±0.01 ^b
SM	10.0±0.04	16.2±0.18 ^{bc}	98.7±0.67 ^a	6.2±0.22 ^{bc}	50.8±0.43 ^{ab}	32.7±0.35 ^b	0.7±0.00 ^b
PM	10.1±0.01	12.0±0.07 ^d	90.0±3.06 ^{abc}	1.9±0.08 ^d	47.1±0.23 ^c	29.6±0.14 ^c	0.6±0.00 ^c
CM	10.1±0.05	11.4±0.25 ^d	80.7±4.06 ^{cd}	1.3±0.20 ^d	46.4±0.27 ^c	29.0±0.18 ^c	0.6±0.01 ^d
SPM	10.0±0.02	12.0±0.23 ^d	75.3±3.53 ^d	2.0±0.24 ^d	46.6±0.34 ^c	29.5±0.28 ^c	0.6±0.00 ^c
MB	10.0±0.02	11.0±0.55 ^d	87.3±5.46 ^{bc}	1.0±0.57 ^d	47.6±0.63 ^c	30.1±0.31 ^c	0.6±0.01 ^{cd}
SM+CM	10.0±0.00	17.0±0.66 ^{ab}	97.3±3.71 ^{ab}	7.0±0.66 ^{ab}	52.1±0.86 ^a	34.0±0.58 ^a	0.7±0.01 ^a
SM+SPM	10.0±0.01	17.4±0.17 ^a	98.7±2.40 ^a	7.3±0.18 ^a	51.9±0.09 ^a	33.8±0.23 ^a	0.7±0.01 ^{ab}
CM+SPM	10.0±0.04	10.9±0.16 ^d	71.3±2.40 ^d	0.9±0.13 ^d	46.3±0.46 ^c	29.2±0.23 ^c	0.6±0.00 ^c

Values in the same column sharing a common superscript are not significantly different (P<0.05).

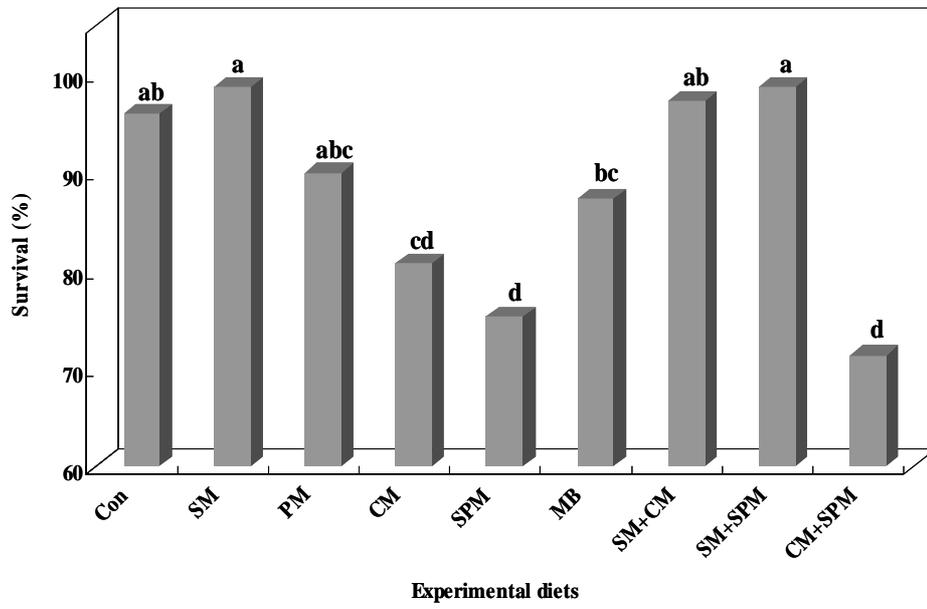


Fig. 1. Survival (%) of abalone fed the experimental diets in the experiment I .

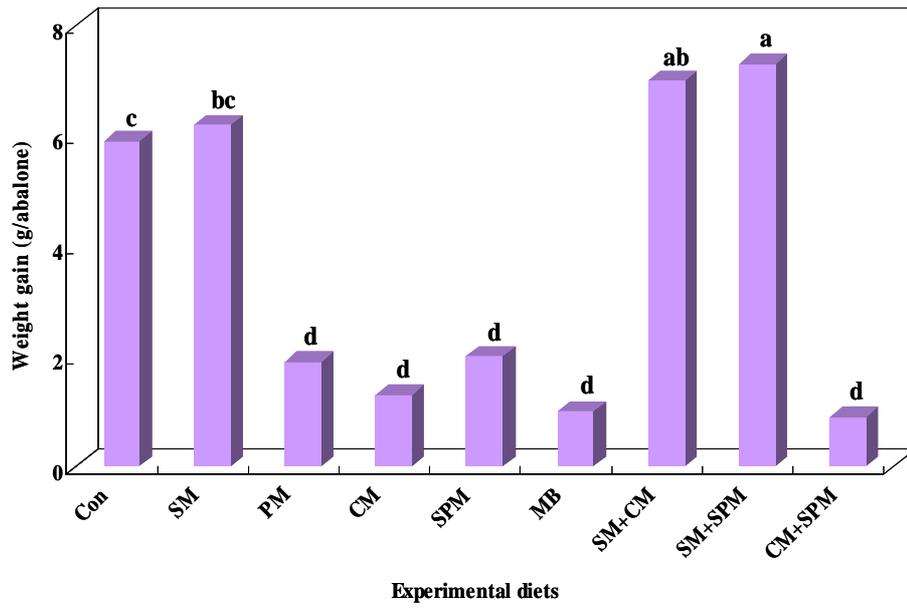


Fig. 2. Weight gain (g/abalone) of abalone fed the experimental diets in the experiment I.

Table 4. Chemical composition (%) of carcass of abalone fed the experimental diets in the experiment I (Mean±SE).

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
Initiation	81.7	10.4	0.5	2.5
Con	79.1±0.57 ^d	11.3±0.37 ^{ab}	1.4±0.07 ^a	2.4±0.05
SM	80.8±0.16 ^{bc}	11.2±0.27 ^{ab}	0.8±0.06 ^{bc}	2.5±0.07
PM	81.0±0.22 ^{bc}	10.1±0.28 ^{bcd}	0.8±0.03 ^{bc}	2.4±0.06
CM	82.7±0.18 ^a	9.3±0.21 ^d	0.9±0.10 ^{bc}	2.6±0.05
SPM	80.0±0.65 ^{cd}	11.7±0.75 ^a	0.9±0.02 ^{bc}	2.5±0.06
MB	81.9±0.32 ^{ab}	10.6±0.29 ^{abc}	0.7±0.10 ^c	2.6±0.04
SM+CM	80.9±0.38 ^{bc}	10.9±0.41 ^{abc}	1.0±0.13 ^b	2.6±0.10
SM+SPM	80.5±0.19 ^c	10.6±0.12 ^{abc}	1.0±0.04 ^{bc}	2.5±0.03
CM+SPM	82.4±0.28 ^a	9.7±0.51 ^{cd}	0.9±0.05 ^{bc}	2.5±0.13

Values in the same column sharing a common superscript are not significantly different (P<0.05).

Table 5. Survival (%), weight gain (g/abalone), shell length (mm), shell width (mm) and the ratio of carcass weight to total weight of abalone fed the experimental diets in the experiment II (Mean±SE).

Diets	Initial weight of abalone (g)	Final weight of abalone (g)	Survival (%)	Weight gain of abalone (g/abalone)	Shell length (mm)	Shell width (mm)	Carcass weight/total weight
Con	4.2± 0.02	7.6±0.10	87.0±2.51 ^{bc}	3.4±0.08 ^{ab}	39.9±0.68 ^a	26.8±0.51	0.59±0.013
BPG	4.3±0.13	7.2±0.30	87.5±1.87 ^{bc}	2.9±0.17 ^b	39.1±0.71 ^a	26.5±0.61	0.59±0.005
EF	4.1±0.04	7.7±0.09	89.2±2.38 ^{ab}	3.6±0.05 ^a	39.8±0.13 ^a	27.0±0.21	0.60±0.006
EG	4.1±0.03	7.7±0.06	81.2±1.94 ^c	3.6±0.03 ^a	39.4±0.06 ^a	26.7±0.09	0.61±0.016
PH	4.2±0.02	7.9±0.33	90.9±3.32 ^{ab}	3.7±0.30 ^a	40.6±0.38 ^a	27.4±0.42	0.60±0.009
HC	4.2±0.02	7.6±0.10	87.2±2.13 ^{bc}	3.4±0.08 ^{ab}	39.4±1.00 ^a	26.7±0.74	0.60±0.010
ST	4.2±0.01	6.3±0.11	95.7±2.19 ^a	2.1±0.09 ^c	37.2±0.68 ^b	25.1±0.56	0.59±0.013

Values in the same column sharing a common superscript are not significantly different (P<0.05).

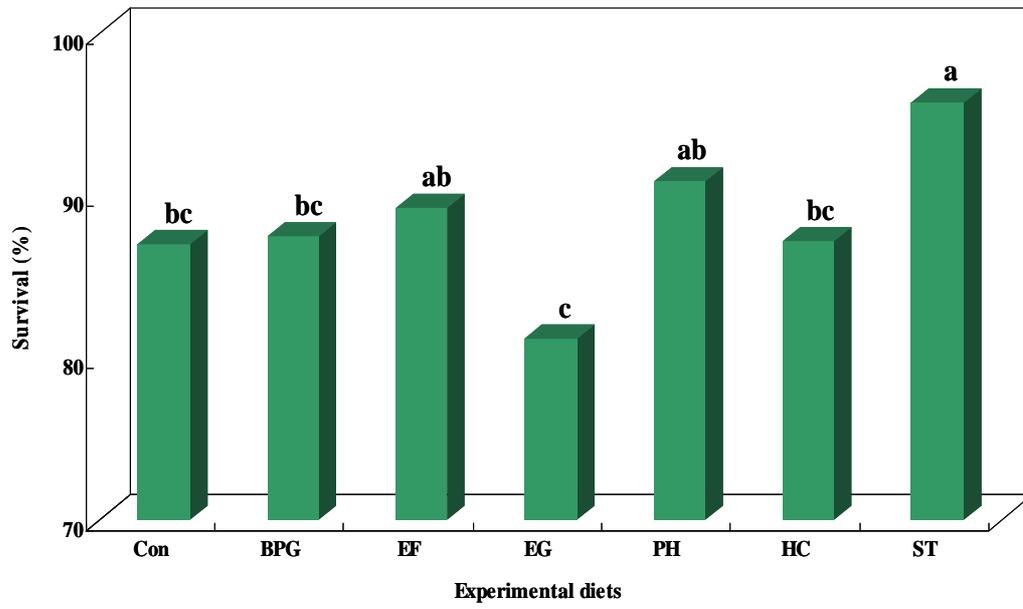


Fig. 3. Survival (%) of abalone fed the experimental diets in the experiment II.

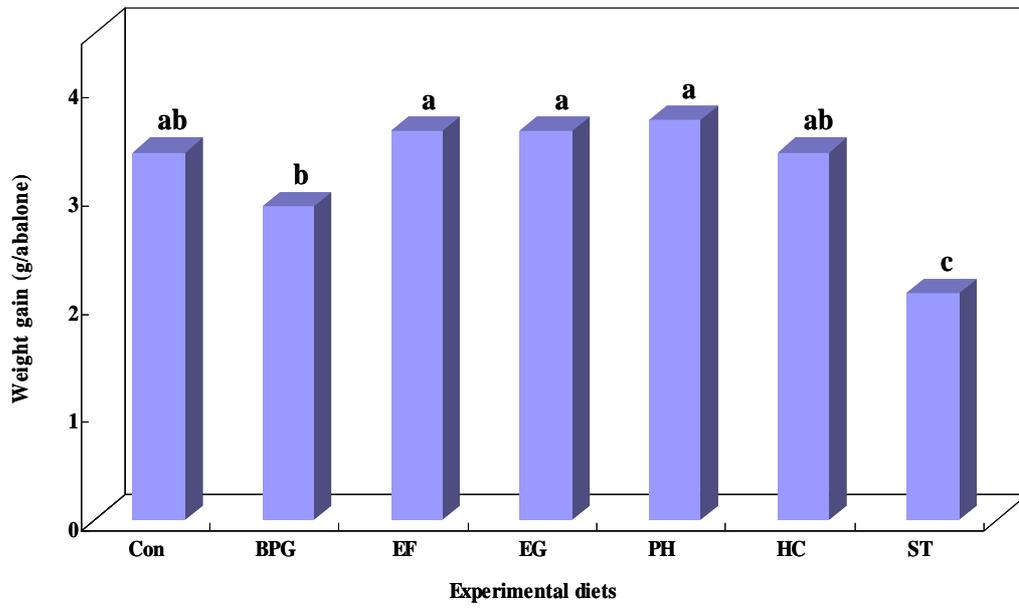


Fig. 4. Weight gain (g/abalone) of abalone fed the experimental diets in the experiment II.

Table 6. Chemical composition (%) of the carcass of abalone fed the experimental diets in the experiment II (Mean±SE).

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
Con	81.5±1.05 ^a	12.6±0.09 ^a	0.8±0.28 ^a	2.3±0.06 ^a
BPG	80.8±0.20 ^a	13.1±0.31 ^a	0.8±0.15 ^a	2.4±0.08 ^a
EF	80.6±0.45 ^a	13.1±0.41 ^a	0.8±0.33 ^a	2.3±0.10 ^a
EG	80.6±0.36 ^a	12.7±0.13 ^a	1.0±0.28 ^a	2.3±0.05 ^a
PH	80.7±0.22 ^a	13.6±0.37 ^a	0.8±0.30 ^a	2.2±0.09 ^a
HC	80.7±0.47 ^a	13.1±0.26 ^a	1.2±0.19 ^a	2.5±0.20 ^a
ST	79.1±0.16 ^a	13.9±0.90 ^a	1.0±0.07 ^a	2.4±0.10 ^a

Values in the same column sharing a common superscript are not significantly different (P<0.05).

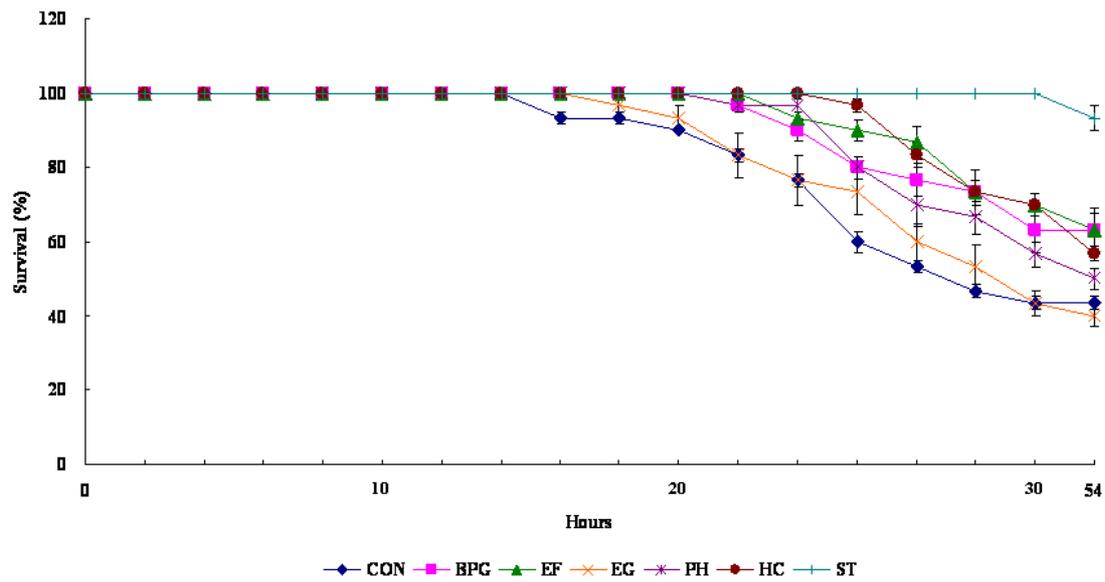


Fig. 5. Changes in survival rate (%) of abalone exposed to air for 30 hours and then transferred to water in raceway tank for 24 hours in the experiment II (Mean±SE).

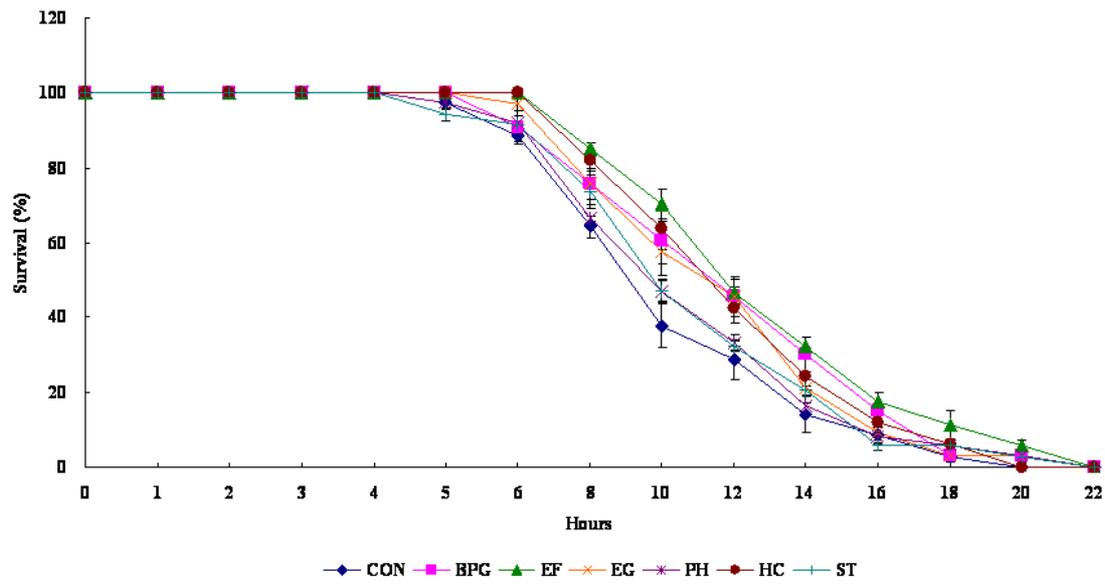


Fig. 6. Changes in survival rate (%) of abalone exposed to sudden salinity change from 31 psu to 15 psu in the experiment II (Mean±SE).

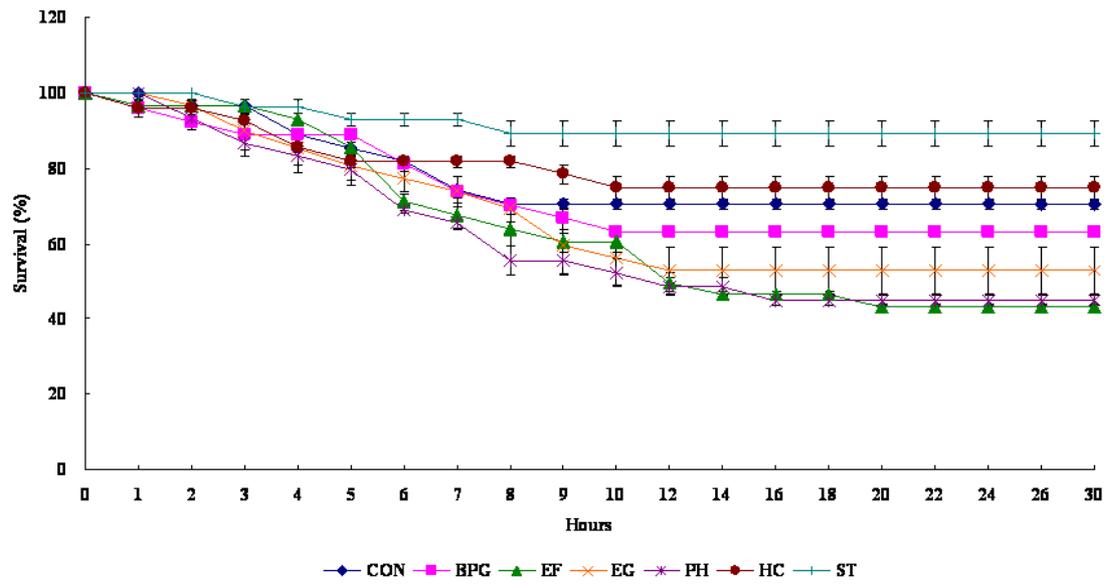


Fig. 7. Changes in survival rate (%) of abalone exposed to sudden temperature change from 13°C to 29°C in the experiment II (Mean±SE).